



SOLDAGEM TIG COM FLUXO ATIVO NOS AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS E AUSTENÍTICOS

Alessandra Gois Luciano de Azevedo

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa
Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206
aglazevedo@mecanica.ufu.br

Danilo de Souza Rocha

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa
Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção - Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem. Fortaleza/CE. CEP: 60488-760.
jpf@secrel.com.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa
Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206
valtairf@mecanica.ufu.br

Resumo: *Uma forma de aumentar a produtividade do processo TIG é utilizando-se a técnica da camada de fluxo ativo. Esta técnica foi desenvolvida pelo Pantton Welding Institute na década de 60, com o intuito de aumentar a produtividade deste processo, tornando-se conhecida como A-TIG ("Active Flux TIG Welding"). Ela consiste no depósito de uma fina camada de fluxo em forma de pó sobre a superfície da peça a ser soldada. Neste trabalho foi verificada a influência do tipo de fluxo ativo na soldagem de chapas de aço inoxidável ferrítico e austenítico, observando se existem modificações nas características geométricas do cordão de solda para os mesmos parâmetros de soldagem. Verificou-se que para o tipo de fluxo utilizado (óxido de titânio) não houve alterações significativas na geometria do cordão de solda para os dois aços utilizados.*

Palavras-chaves: *fluxo ativo, aço inoxidável ferrítico, aço inoxidável austenítico.*

1. INTRODUÇÃO

No processo de soldagem TIG um arco elétrico é formado entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça de trabalho, a proteção da poça de fusão é realizada por um gás ou uma mistura de gases inertes. O arco elétrico é bastante suave produzindo soldas de boa aparência, exigindo pouca ou nenhuma limpeza após a operação. A capacidade de controlar a quantidade de calor cedido à peça faz com que este processo seja ideal para soldagem de peças pequenas e que exijam alta precisão e controle, comprometendo um pouco a produtividade (AWS, 1991).

Uma forma de aumentar a produtividade do processo TIG é utilizando-se a técnica da camada de fluxo ativo. Esta técnica foi desenvolvida pelo Panton Welding Institute na década de 60 com o intuito de aumentar a produtividade deste processo, tornando-se conhecida como A-TIG (“Active Flux TIG Welding”). Ela consiste no depósito de uma fina camada de fluxo em forma de pó sobre a superfície da peça a ser soldada. Os fluxos podem ser formados por óxidos ou fluoretos, sendo geralmente preparados através de sua mistura com uma solução volátil, normalmente acetona ou álcool. A mistura apresenta uma forma líquida que pode ser passada sobre a peça com o auxílio de um pincel ou por spray, formando uma fina camada que após a evaporação do líquido adere-se à peça. Os resultados da época mostraram-se favoráveis a aplicação da técnica apresentando uma produtividade cerca de 3 vezes maior do que a do TIG convencional (Marya, 2002).

Durante a soldagem o calor do arco funde e vaporiza a camada de fluxo que produz alterações na poça de fusão e no arco elétrico produzindo um aumento na penetração em juntas de até 10mm de espessura e sem preparação, equivalendo-se em penetração ao processo a plasma com “keyhole” (Marya, 2004; Richetti, 2003, Modenesi, 1998). No processo de soldagem TIG convencional a penetração é normalmente limitada à cerca de 3 a 4mm, mesmo levando-se em consideração a faixa de espessura coberta pelo TIG, o processo com fluxo ativo permite utilizar maiores velocidades de soldagem (Lucas & Howse, 1996 e Perry et al., 1998).

Na soldagem com fluxo ativo, recomenda-se que a camada apresente uma espessura uniforme para assegurar repetibilidade dos resultados, além de uma boa aderência ao material de base para suportar a força do arco durante a soldagem (Marya, 2002). A principal desvantagem desta técnica reside principalmente na propensão à formação de escória sobre a superfície da solda, podendo também acarretar uma piora no seu acabamento superficial. No caso da soldagem em vários passes, a escória formada deve ser adequadamente retirada para evitar a possibilidade da ocorrência de inclusões em passes subsequentes. Não se pode desconsiderar a possibilidade de contaminação ou fragilização do metal de solda em função das interações entre o fluxo e o metal fundido (Paskell et al., 1997 e Modenesi et al., 1998).

Muitos mecanismos foram propostos para explicar o aumento da penetração na soldagem A-TIG. A maioria dos pesquisadores acredita que isto ocorre devido ao fato de que as moléculas do fluxo dissociadas pelo intenso calor gerado são capazes de capturar elétrons nas regiões periféricas do arco (mais frias), formando ali íons negativos. A captura de elétrons por parte destes elementos reduz a densidade periférica de elétrons livres no arco e, desta forma, o principal canal condutor de eletricidade é reduzido, resultando em um efeito de constrição (redução do diâmetro da coluna do arco) e aumento na tensão do arco (Marya, 2002, Perry et al., 1998, Fan et al., 2001 e Walsh et al., 1998).

Esta constrição poderia levar a uma maior tensão do arco na soldagem com fluxo ativo em relação ao processo convencional (Middel & den Ouden, 1998). Ao mesmo tempo, este efeito de constrição induz um aumento na temperatura e na pressão do arco, permitindo aumentar significativamente a profundidade de penetração da solda. Apesar do efeito da constrição do arco ser um dos mecanismos utilizados para explicar o aumento da produtividade do processo, Perry et al. (1998) analisaram imagens do arco e não conseguiram comprovar a existência deste fenômeno. Contudo, esta impressão pode estar provavelmente relacionada ao aumento do brilho (intensidade) do arco.

Fan et al. (2001) sugerem, ainda, três fatores para explicar o mecanismo de constrição do arco. Em uma delas a constrição pode ser causada devido a átomos dissociados na periferia do arco que absorvem elétrons para formar partículas carregadas (íons), causando uma diminuição na quantidade de elétrons livres e, conseqüentemente, diminuindo a habilidade de condução e causando uma constrição do arco. Outra explicação seria devido às reações endotérmicas de dissociação das moléculas componentes do fluxo que absorvem calor das regiões externas do arco, causando um efeito de constrição. E ainda, devido ao fato de que a condutividade elétrica do fluxo ser geralmente menor do que a dos vapores metálicos produzidos pelo material de base, pode ocorrer uma redução na área do ponto anódico (região de incidência do arco), causando uma contração da raiz do arco (Fan et al., 2001).

Ostrovskii (1977) propôs uma teoria baseada na força eletromagnética de Lorentz. Sabe-se que o valor da força eletromagnética depende da corrente de soldagem e da extensão das linhas de corrente alargadas. Desde que o raio do ânodo na soldagem com um fluxo ativo seja menor do que na soldagem convencional do TIG, deve-se esperar que o componente axial da força eletromagnética aumente, resultando em um fluxo fluido interno mais forte da superfície ao fundo da poça da solda, fazendo com isso que ocorra um considerável aumento da penetração.

Dong (2004) aplicou a técnica do ATIG em diferentes tipos de materiais para verificar a influência de diferentes fluxos ativos. Ele constatou que o tipo de fluxo influencia em alguns materiais de base de forma mais positiva do que em outros, pois aplicando os mesmos parâmetros de soldagem e a mesma mistura como fluxo ativo obteve resultados de penetração diferentes para cada matéria, obtendo penetração maior comparado com o teste TIG.

O objetivo deste trabalho é empregar o processo A-TIG na soldagem de chapas de aço inoxidável ferrítico e austenítico, para verificar a influência do tipo de fluxo (óxido de titânio) nas características geométricas dos cordões de solda.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

Foi utilizada uma fonte de soldagem eletrônica multi-processo que obedece a estrutura de uma fonte transistorizada chaveada no secundário. Esta fonte trabalha com uma corrente nominal de até 450 A para um fator de serviço igual a 100%.

Todos os testes foram feitos em chapas de aço inoxidável do tipo ASTM 410D e AISI 304L em juntas de topo compostas por duas chapas de dimensões 250 mm x 50 mm x 6,35mm.

Foi utilizado o eletrodo EWTh-2 com 3,2 mm de diâmetro em uma tocha refrigerada a água. A ponta do eletrodo foi preparada com formato cônico, com ângulo de ponta em torno de 60°. Como gás de proteção foi utilizado o argônio puro com uma vazão de 12 l/min.

Para a realização das soldas de forma automatizada, foi utilizada uma mesa de coordenadas computadorizadas. Durante a soldagem, os sinais elétricos foram adquiridos a uma frequência de 10 kHz diretamente na fonte de soldagem via placa de aquisição e, posteriormente, os dados foram analisados em um programa de tratamento de sinais.

Um sistema de aquisição e tratamento de imagens foi utilizado para a medição das características geométricas dos cordões de solda e visualização das imagens do arco.

Nos testes de soldagem utilizou-se o procedimento adotado por Richetti (2003), onde o fluxo foi passado sobre metade da chapa, obtendo um teste com fluxo e outro sem e a soldagem foi realizada “bead on plate”, conforme pode ser observado na Figura 1.

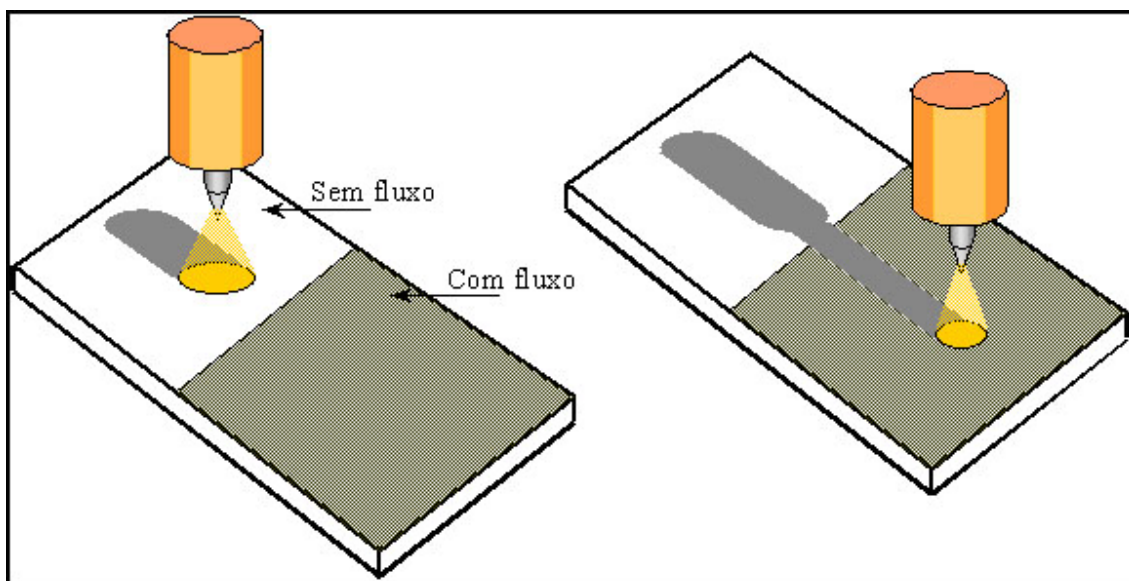


Figura 1 - Esquema da soldagem com fluxo ativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificar a influência do tipo de fluxo (óxido de titânio) do processo de soldagem A-TIG na penetração de uma junta soldada de topo de dois tipos de aço inoxidável, sendo um ferrítico (410D) e outro austenítico (AISI 304L), foram realizados testes variando a velocidade e a corrente de soldagem.

3.1 - Testes realizados com o aço inoxidável austenítico

Os testes foram realizados “bead on plate”, com os parâmetros de soldagem apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem para o aço AISI 304L.

Corrente de soldagem	100A	200A	300A
Velocidades de soldagem	10, 20 e 30cm/mim	10, 20 e 30cm/min	10, 20 e 30cm/min
Gás de proteção (Ar)	14l/min	14l/min	14l/min
Eletrodo	EWTh-2, ϕ 3,2 mm, 60°	EWTh-2, ϕ 3,2 mm, 60°	EWTh-2, ϕ 3,2 mm, 60°
Ângulo da tocha	90° com a horizontal	90° com a horizontal	90° com a horizontal
DEP	2,0mm	2,0mm	2,0mm

Foram retirados os corpos de prova de cada teste para a análise da macrografia para as medidas geométricas do cordão de solda. Os corpos de prova foram lixados até lixa 600 e atacados com uma solução de Vilellas, para o aço ferrítico, e de com uma solução de 5% de ácido pícrico e 3% de ácido clorídrico em álcool. A Tabela 2 apresenta as medidas encontradas para os testes com a corrente de 100A. A Figura 1 mostra o aspecto macrográfico de um cordão de solda e a Figura 2 o aspecto da superfície do cordão na região do fluxo de soldagem.

Tabela 2 – Testes realizados com o aço inoxidável austenítico AISI 304L para I = 100A.

Testes	I (A)	V (cm/min)	Fluxo ativo	P (mm)	L (mm)	P/L	Área (mm ²)
1	100	10	Não	1,5	5,3	0,28	6,1
2	100	10	Sim	2,3	5	0,46	6,6
3	100	20	Não	0,9	4,8	0,19	3,3
4	100	20	Sim	1,5	4,2	0,36	3,4
5	100	30	Sim	0,7	3,7	0,19	1,8
6	100	30	Não	0,7	3,7	0,19	1,8
7	200	10	Não	2,4	12	0,2	24,7
8	200	10	Sim	6,0	7,9	0,76	39
9	200	20	Não	2,3	9,9	0,23	12,8
10	200	20	Sim	3,6	7,3	0,49	16,9
11	200	30	Não	2,8	6,1	0,46	9,5
12	200	30	Sim	2,8	6,7	0,37	11
13	300	20	Não	4,4	12,7	0,35	35,1
14	300	20	Sim	5,2	9	0,58	30
15	300	30	Não	3,5	8,6	0,48	20
16	300	30	Sim	3,8	8,5	0,48	19,6
17	300	10	Não	6,0	10	0,6	30
18	300	10	Sim	6,0	10	0,6	30

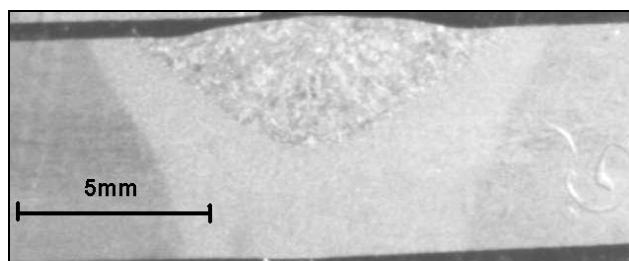


Figura 1 – Aspecto do cordão de solda



Figura 2 – Aspecto do cordão da região de aplicação do fluxo

Comparando os resultados apresentados na Tabela 2 pode-se verificar um aumento na penetração dos cordões de solda quando se empregou o fluxo no aço em estudo. Entretanto, verifica um aspecto bastante oxidado (escória) sobre a superfície do cordão de solda, como mostrado na Figura 2. Este aspecto também é verificado nos trabalhos citados pela literatura. Alguns autores alcançaram valores semelhantes para o aço inoxidável austenítico, empregando esses níveis de corrente (Modenesi, 2000; Marya, 2004; Dong, 2004).

Para analisar melhor os três níveis de corrente para cada velocidade de soldagem empregadas no aço inoxidável austenítico, montou-se um gráfico comparativo entre os testes. Utilizou-se a relação entre as medidas das penetrações dos testes realizados com fluxo (P_f) e sem fluxo (P_{sf}) com a corrente de soldagem (Figura 3) e com a velocidade de soldagem (Figura 4).

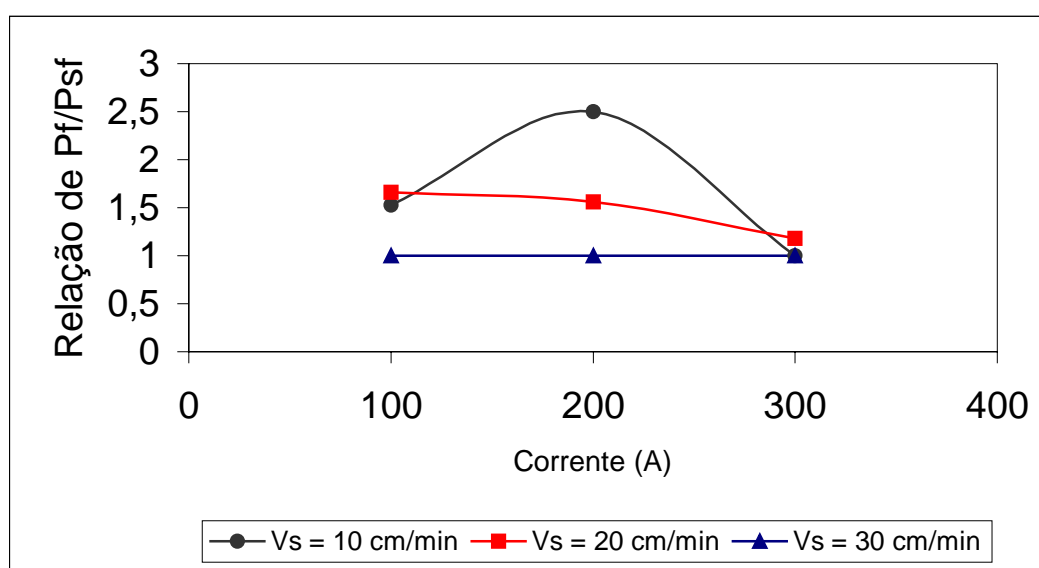


Figura 3 – Comparativo entre as correntes de soldagem com relação à penetração em função da velocidade de soldagem.

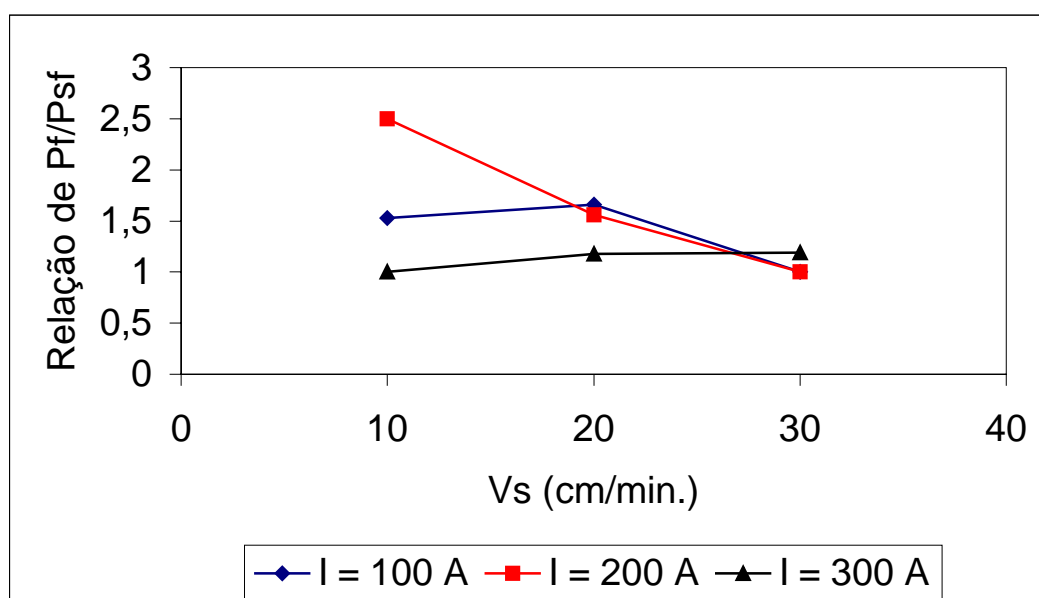


Figura 4 - Comparativo entre as velocidades de soldagem com relação à penetração em função da corrente de soldagem.

Pelas Figuras 3 e 4 verifica-se que os testes com 300A apresentaram menores relação de penetração independente da velocidade de soldagem utilizada. Isto demonstra que o valor da corrente de soldagem é um parâmetro que interfere na relação de penetração, mostrando que a aplicação do fluxo não altera significativamente o valor da penetração. Para a corrente de 100A ocorreu um aumento da relação de penetração para todas as velocidades utilizadas. A penetração, com a aplicação de fluxo, aumentou paroximadamente 1,5 vezes. Para a corrente de 200A verifica-se que ocorreu uma influência significativa da velocidade de soldagem, isto é, menores velocidades apresentaram melhores resultados, aumentando a penetração em aproximadamente 2,5 vezes. Estes resultados demonstram que tanto a velocidade quanto a corrente de soldagem (isto é, a energia de soldagem) interferem na penetração com a utilização do fluxo ativo.

3.2 – Testes realizados com o aço inoxidável ferrítico

As soldas foram realizadas em juntas de topo nas mesmas condições dos testes anteriores, com os seguintes parâmetros que estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Parâmetros de soldagem.

Corrente de soldagem	200A	300 A
Velocidade de soldagem	20cm/min	30 cm/min
Gás de proteção (Ar)	14l/min	14l/min
Eletrodo	EWTh-2, ϕ 3,2 mm, 60°	EWTh-2, ϕ 3,2 mm, 60°
Ângulo da tocha	90° com a horizontal	90° com a horizontal
DEP	2,0mm	2,0mm

A Tabela 4 apresenta os resultados dos testes realizados com corrente de soldagem de 200A e de 300A com velocidade de soldagem de 20cm/min e 30cm/min, respectivamente.

Tabela 4 – Resultados para os testes com o aço inoxidável ferrítico

Testes	Fluxo	Largura (mm)	Penetração (mm)	P/L	Área fundida (mm ²)
I = 200A e V _s = 20cm/min	Sim	8,5	3,5	0,41	17,6
I = 200A e V _s = 20cm/min	Não	9,2	2,1	0,23	15,6
I = 300A e V _s = 30cm/min	Sim	9,4	3,7	0,39	24,2
I = 300A e V _s = 30cm/min	Não	10,5	3,7	0,35	26,9

Conseguiu-se um aumento na penetração de aproximadamente 1,5 vezes e uma redução na largura do cordão de solda, para a condição de 200A e velocidade de 20 cm/min. Entretanto para a corrente de 300 A e 30 cm/min, a relação de penetração não foi alterada. Estes resultados demonstram mais uma vez que a corrente e velocidade de soldagem influenciam na relação de penetração, de forma semelhante aos resultados com o aço inoxidável austenítico.

3.3 – Comparação dos resultados entre os aços inoxidáveis

Para comparar os resultados dos testes realizados foram utilizados os testes nas mesmas condições de soldagem realizadas acima (correntes de 200 e 300 A com velocidade de 20 e 30 cm/min, respectivamente). A Figura 5 mostra os resultados comparativos.

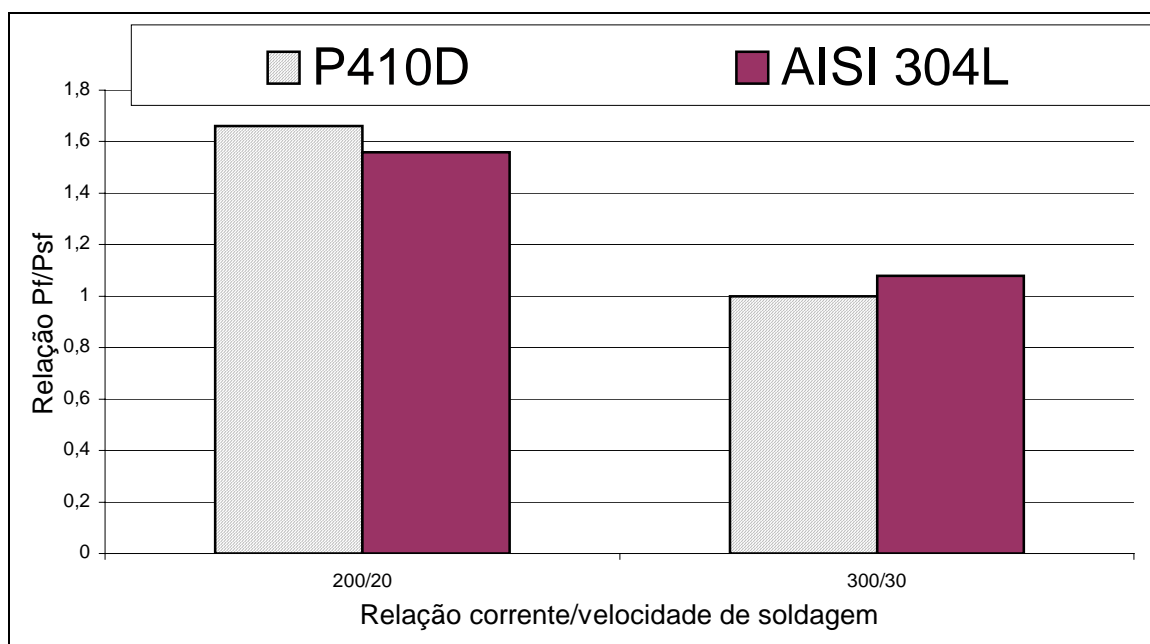


Figura 5 – Gráfico comparativo entre os resultados dos aços utilizados.

Os resultados mostram que para a mesma condição de soldagem (mesma energia de soldagem) o tipo de fluxo utilizado não altera os valores de penetração.

5. CONCLUSÕES

Com os testes realizados pode-se concluir o seguinte:

- Ocorreu um aumento da penetração na junta soldada com a aplicação do fluxo ativo;

- A velocidade e a corrente de soldagem interferem na relação de penetração, isto é, dependendo dos valores destes parâmetros a penetração é alterada.
- O óxido de titânio não altera os valores da relação de penetração para os tipos de aço inoxidável utilizados neste trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU pelo apoio laboratorial, a Acesita pela doação do material e ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- AWS - American Welding Society, 1991, "Gas Tungsten Arc Welding", In: Welding Handbook, 8th ed., vol. 2, pp. 73 – 107.
- Dong, C e Katayama, S. , 2004, "Basic Understanding of A-TIG Welding Process". IIW Technical Meeting 2004. Osaka, Japan.
- Fan, D., Zhang, R., Gu, Y. & Ushio, M., 2001, "Effect of Flux on A-TIG Welding of Mild Steels", Transactions of JWRI (Joining and Welding Research Institute), vol. 30, n. 1, pp.35 - 40, ISBN: 0387-4508.
- Lucas, W. & Howse, D. , 1996, "Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes". Welding & Metal Fabrication, p.11-17.
- Marques, P. V. , 1991, "Tecnologia em Soldagem", ESAB: Belo Horizonte, 352 p.
- Marya, M, 2002., "Theoretical and Experimental Assessment of Chloride Effects in the A-TIG Welding of Magnesium". International Institute of Welding Document, Copenhagen, Denmark, 13 p.
- Marya, S. ,2004, "Enhancing GTAW Performance Through Flux Coatings. Theoretical Background and Industrial Applications". IIW Technical Meeting 2004. Osaka, Japan.
- Middel, W. & den Ouden, G. , 1998, "The Effect of Additives on Arc Characteristics in GTA Welding", Trends in Welding Research, Proceedings of the 5th International Conference, 1-5 June, Pine Mountain, Georgia, USA, pp. 394 - 399, ISBN: 0-87170-627-X.
- Modenesi, J. P., Apolinário, E. R, 1999, "Estudo da soldagem TIG com fluxos de um componente".
- Ostrovskii, O. E., et al, 1997, "The effect of activating flux on the penetration capability of the welding arc and energy concentration in the anode spot". Welding Production.
- Paskell, T., Lundin, C. & Castner, H, 1997, "GTAW Flux Increases Weld Joint Penetration. Welding Journal", v.76, n.4, p.57–62.
- Perry, N., Marya, S, & Soutif, E. , 1998, "Study and Development of Flux Enhanced GTA Penetrations in a Commercial Grade Titanium". In: Trends In Welding Research, Proceedings Of The 5th International Conference, Pine Mountain, Georgia, USA, p.520-525.
- Walsh, D. W., Demmons, A. & Gibbs, D, 1998., "The Effects of Sulfide, Oxide and Halide Coatings on Bead Shape in Inconel 718 Weldments", Trends in Welding Research, Proceedings of the 5th International Conference, 1-5 June, Pine Mountain, Georgia, USA, pp. 526 - 529, ISBN: 0-87170-627-X.
- Richetti, A. , 2003, "Análise e Modelagem Empírica do Processo de Soldagem a Plasma com "keyhole" em Aço Inoxidável. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

WELDING TIG WITH ACTIVE FLOW IN AUSTENITIC AND FERRITIC STAINLESS STEEL

Alessandra Gois Luciano de Azevedo

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206
aglazevedo@mecanica.ufu.br

Danilo de Souza Rocha

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção - Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem. Fortaleza/CE. CEP: 60488-760.
jpf@secrel.com.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia/MG. CEP: 38400-902 - Fone: (34) 3239 4148/4192/4150 - Fax: (34) 3239 4206
valtairf@mecanica.ufu.br

Abstract: *The Pantan Welding Institute developed the active flux layer technique in the decade of 60, with intention to increase the productivity of this process, becoming known as A-tig ("It activates Flood TIG Welding"). It consists of the deposit of a fine layer of flux on the surface of the plates to be welded. The topic studied in this work was the influence of the type of active flux for the welding of ferritic and austenitic stainless steel plates was verified, observing if modifications in the geometric characteristics of the weld bead for the same parameters of welding. The results obtained indicate it was verified that for the type flux (TiO₂) not have significant alterations in the geometry of weld bead for both steels.*

Keywords: *active flux, ferritic stainless steel, austenitic stainless steel.*